

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

## “GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN BASE AL MODELO HDM-4 EN DIFERENTES PAÍSES. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

Bachiller en **Ingeniería Civil**

Autoras:

Ana Liliana Murrugarra Sanchez

Jenny Yadira Ruiz Olortegui

Asesor:

Mg. Ing. Gabriel Cachi Cerna

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A mis padres, que siempre están en los buenos y malos momentos, los que me enseñaron a afrontar los problemas, mostrándome su apoyo e infinito amor, los que nunca dudaron en animarme en seguir adelante, que fundamentalmente gracias a este apoyo estoy en estos momentos a puertas de terminar una carrera profesional y convertirme en una ingeniera civil.

A mis hermanos, que siempre me apoyaron para continuar con mis estudios de ingeniería civil.

---

## DEDICATORIA

A mis amados padres por el constante apoyo en cumplir mis metas y sueños, por la fortaleza y comprensión en los momentos más difíciles, por inculcarme buenos principios y por demostrarme a través de sus ejemplos que para cumplir con un objetivo debemos ser constantes y trabajar arduamente.

A mis queridos hermanos, que con su preocupación y amor me dieron confianza y motivos para seguir adelante en el cumplimiento de mi objetivo profesional.

A mis abuelos por alentarme a seguir adelante siempre y ayudarme con mis responsabilidades.

---

## AGRADECIMIENTO

La persona que soy ahora se lo debo a mis padres, que con sus enseñanzas me forjaron e inculcaron la mentalidad de siempre ayudar al prójimo, a ellos es mi infinito agradecimiento, que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a llegar a este punto que significa el final y el comienzo de una etapa, gracias a ellos comprendo que el tener una carrera profesional, no significa ser más que alguien, sino el motivo para servir a la sociedad.

De igual forma agradezco a los docentes de la Universidad Privada del Norte que con su esfuerzo y dedicación nos impartieron todo su conocimiento, con el único fin de formar unos ingenieros capaces e íntegros.

A mis compañeros de carrera, que significaron siempre un apoyo incondicional y complicidad.

---

## AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme, cuidarme y permitir vivir esta etapa universitaria.

A mis padres por impulsarme y acompañarme en cumplir con cada reto que he tenido a lo largo de mi vida.

A los docentes de la carrera profesional de ingeniería civil por el tiempo, dedicación y preocupación en nuestro aprendizaje, agradecerles por los conocimientos impartidos que nos ayudaron a formarnos en la carrera de ingeniería civil.

Al personal de los laboratorios por el trato amable en cada partica y la asesoría para realizar los ensayos que nos sirvieron para complementar nuestros conocimientos teóricos.

---

## **TABLA DE CONTENIDO**

DEDICATORIA	1
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ESQUEMAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	8
RESUMEN	9
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO III. RESULTADOS</b>	<b>33</b>
<b>CAPITULO IV. CONCLUSIONES</b>	<b>46</b>
BIBLIOGRAFÍA	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Búsqueda de información en Google Académico utilizando palabras claves. ....	15
Tabla 2. Búsqueda de información en EBSCO utilizando palabras claves. ....	17
Tabla 3. Búsqueda de información en Redalyc.org utilizando palabras claves. ....	19
Tabla 4. Búsqueda de información en HDMGLOBAL utilizando palabras claves. ....	21
Tabla 5. Base de datos. ....	22
Tabla 6. Base de datos. ....	23
Tabla 7. Base de datos. ....	24
Tabla 8. Criterio de exclusión. ....	25
Tabla 9. Criterio de inclusión. ....	26
Tabla 10. Criterio de inclusión. ....	27
Tabla 11. Investigaciones con palabra clave “Software HDM-4” ....	34
Tabla 12. Investigaciones con palabra clave “Software HDM-4” ....	35
Tabla 13. Investigaciones con palabra clave “Pavimentos”. ....	36
Tabla 14. Investigaciones con palabra clave “Gestión de mantenimiento”. ....	37
Tabla 15. Investigaciones con palabra clave “Gestión de mantenimiento”. ....	38
Tabla 16. Herramienta virtual. ....	39
Tabla 17. Palabra clave. ....	40
Tabla 18. Año de publicación. ....	41
Tabla 19. Tipo de estudios. ....	42
Tabla 20. Factor de mayor importancia en la calibración. ....	44
Tabla 21. Factor de mayor importancia en la calibración. ....	45

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Búsqueda en Google académico. ....	14
Esquema 2: Búsqueda en EBSCO .....	16
Esquema 3: Búsqueda en Redalyc. Org.....	18
Esquema 4: Búsqueda en HDMGLOBAL. ....	20



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de herramienta virtual.....	39
Gráfico 2. Palabra clave.....	40
Gráfico 3. Años de publicación. ....	41

---

## RESUMEN

La presente investigación está enfocada en realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre gestión de mantenimiento de carreteras, en base al modelo HDM-4 en diferentes países; se buscó información sustancial con las palabras claves: Gestión del Mantenimiento de Carreteras, Software HDM-4 y Pavimentos, para luego clasificarla de acuerdo a su importancia para el estudio, y finalmente analizar y comparar la información más relevante, para la selección de artículos nos basamos en un periodo de 16 años, haciendo uso de fuentes confiables como Google Académico, Redalyc.org, EBSCO y la plataforma de HDMGLOBAL, mediante el idioma español e inglés. Se seleccionó 18 artículos, posterior a ello se depuró los artículos que no cumplían con los criterios de elegibilidad, obteniendo finalmente 12 artículos. Con la sistematización de la información se llegó a la conclusión que la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 se optimiza, ya que este modelo predice el deterioro de la carretera en su periodo de vida útil, además permite realizar un análisis técnico - económico, dando como resultado un informe para la evaluación de alternativas de mantenimiento y rehabilitación, una de las limitaciones encontradas en esta investigación fue el acceso restringido a algunos artículos.

**PALABRAS CLAVE:** Gestión del mantenimiento de carretera, Software HDM-4 y Pavimentos.

---

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Es común observar pavimentos en mal estado y un intento fallido por parte de los organismos competentes, para controlar su deterioro y la preservación de la calidad de servicio en su periodo de vida útil, a fin de resolver la problemática de deterioro prematuro de las carreteras y aprovechar de una forma eficiente dicho presupuesto; surge la necesidad de implementar una gestión del mantenimiento de carreteras, conllevando a la realización de una serie de actuaciones planificadas, con el objetivo de mantener un nivel adecuado de funcionamiento, al menor coste posible, teniendo en cuenta no solo aspectos técnicos sino también sociales, económicos y medioambientales; para ello, es necesario disponer de modelos que nos permitan prever el comportamiento del firme, con datos sobre su evolución real y su estado en un momento determinado. Uno de los sistemas más difundidos es el modelo denominado HDM-4 (Highway Design and Maintenance Standards Model), principalmente patrocinado por el Banco Mundial y tras más de tres décadas de experiencia y colaboración con distintas instituciones y universidades de todo el mundo, proporciona la metodología más avanzada hasta el momento, para poder predecir la evolución de la vida del firme. (Nuñez & Perez, 2005)

México ha empleado el HDM-4 en los 41 000 kilómetros de la Red Federal de Carreteras Libre de Peaje, en el marco de un crédito externo firmado entre el Gobierno Federal y el Banco Mundial, con el fin de mejorar la planificación de la red. (Nuñez & Perez, 2005)

Los alcances de HDM-4 se han desarrollado hasta convertirlo en una herramienta flexible para el análisis de alternativas de inversión y para la gestión vial, con amplias posibilidades de aplicación en países desarrollados y en desarrollo, en más de 110 países. Los usuarios son

dependencias de gobierno, contratistas, centros de investigación, bancos de financiamiento y desarrollo, consultores, universidades y centros de capacitación. Se pueden encontrar ejemplos de aplicación recientes de HDM-4 en países como Australia, Brasil, Camerún, China, India, Malawi, Namibia, Uganda y el corredor norte-sur de África, así como, en el Departamento de Transporte del Reino Unido con un análisis estratégico. (HDMGLOBAL, 2005).

Según Lila Tachtsi, representante del HDMGLOBAL en la Cuarta Conferencia Internacional de HDM-4, en Santiago de Chile, en el 2017 aseguró que esta es una herramienta que permite tomar la decisión adecuada, decidir donde y cuando invertir los recursos, así mismo, dijo que es una herramienta que necesita calibración y una buena calidad de datos.

Sin embargo según (Valera, 2017), fundador de RAUROS y creador del software ICARO, mencionó que esta es una herramienta informática un tanto desactualizada, no amigable con el usuario, a comparación con otras herramientas que están en el mercado, porque, requiere un elevado número de datos, calibración compleja y además es costosa;

Los datos ingresados al Software HDM-4 son las características de las carreteras a analizar, las características de los vehículos que operan en la red, los estándares de conservación que serán aplicados en los distintos tramos de carretera, zonas climáticas y los datos predefinidos que se utilizarán en el análisis. Todo esto incluido como información en una unidad gestora de datos que posee cuatro componentes: red de carreteras, parque de vehículos, trabajos, y configuración de HDM respectivamente. (Miquel & Henao, 2007),

En el Perú Según la Cámara de Comercio de Lima (2019), un total del 80% de las carreteras están en mal estado, significando grandes inversiones de dinero en su reparación, esto hace

indispensable la creación de un sistema eficiente de gestión del mantenimiento carreteras, en el manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos del 2013 ha evaluado el comportamiento de las estructuras de pavimentos con los modelos HDM III y HDM-4, sin embargo este análisis se ha realizado a nivel de proyecto, si bien es notable que se podría usar este software a nivel de estrategia y programa, realizando la calibración de los factores de dicho software y adecuarlo a condiciones locales, lo que podría ayudar a la toma de decisiones y generar una eficiente gestión del mantenimiento de carreteras de nuestro país.

De esta forma surge el tema de investigación, que toma como base a la pregunta: ¿Qué estudios se han realizado de la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países? Asimismo, surgen otras interrogantes como ¿Se debería implementar el modelo HDM-4 en la gestión de mantenimiento de carreteras a nivel de estrategia y programa en Perú?, ¿Cuál es la eficiencia de usar el modelo HDM-4 en la Gestión del Mantenimiento de Carreteras?, ¿cuál es la importancia de calibrar el software HDM-4 para el análisis de la gestión del mantenimiento en cada proyecto vial?, ¿Qué resultados se obtuvieron del software HDM-4 en las diferentes investigaciones?

Por ello, la presente investigación está enfocada en desarrollar los siguientes objetivos: el objetivo principal se basa en realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países; y los objetivos específicos son, buscar información sustancial acerca del mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4, clasificarla de acuerdo a su importancia para el estudio, y finalmente analizar, comparar y estudiar la información más relevante.

---

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación pertenece a un estudio de revisión sistemática de la literatura científica, se basa en analizar, interpretar y clasificar, los conceptos de la pregunta de investigación, generando así un modelo general de investigación o un procedimiento de actuación general que se aplica en el ciclo entero de la investigación en el marco del problema planteado. En la investigación se ha planteado la siguiente pregunta ¿Qué estudios se han realizado de la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países?, Buscando de esta forma estudios de la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países para generar posibles empleos de esta en el sector de ingeniería de carreteras, aportando una ampliación a los conocimientos de gestión del mantenimiento de carreteras y enriqueciendo el ámbito científico.

La búsqueda de información acaparo estudios en el idioma español e inglés, realizando la traducción mediante diccionarios y la aplicación de traductor online. La recopilación de datos estuvo enfocada en tesis, artículos científicos, páginas web de carreteras tales como la del Modelo de Estándares de Diseño y Conservación de Carreteras (Highway Design and Maintenance Standards Model- HDMHDMGLOBAL), así mismo se realizó una búsqueda exhaustiva en herramientas virtuales como el caso de Google Académico, Redalyc, EBSCO, etc.

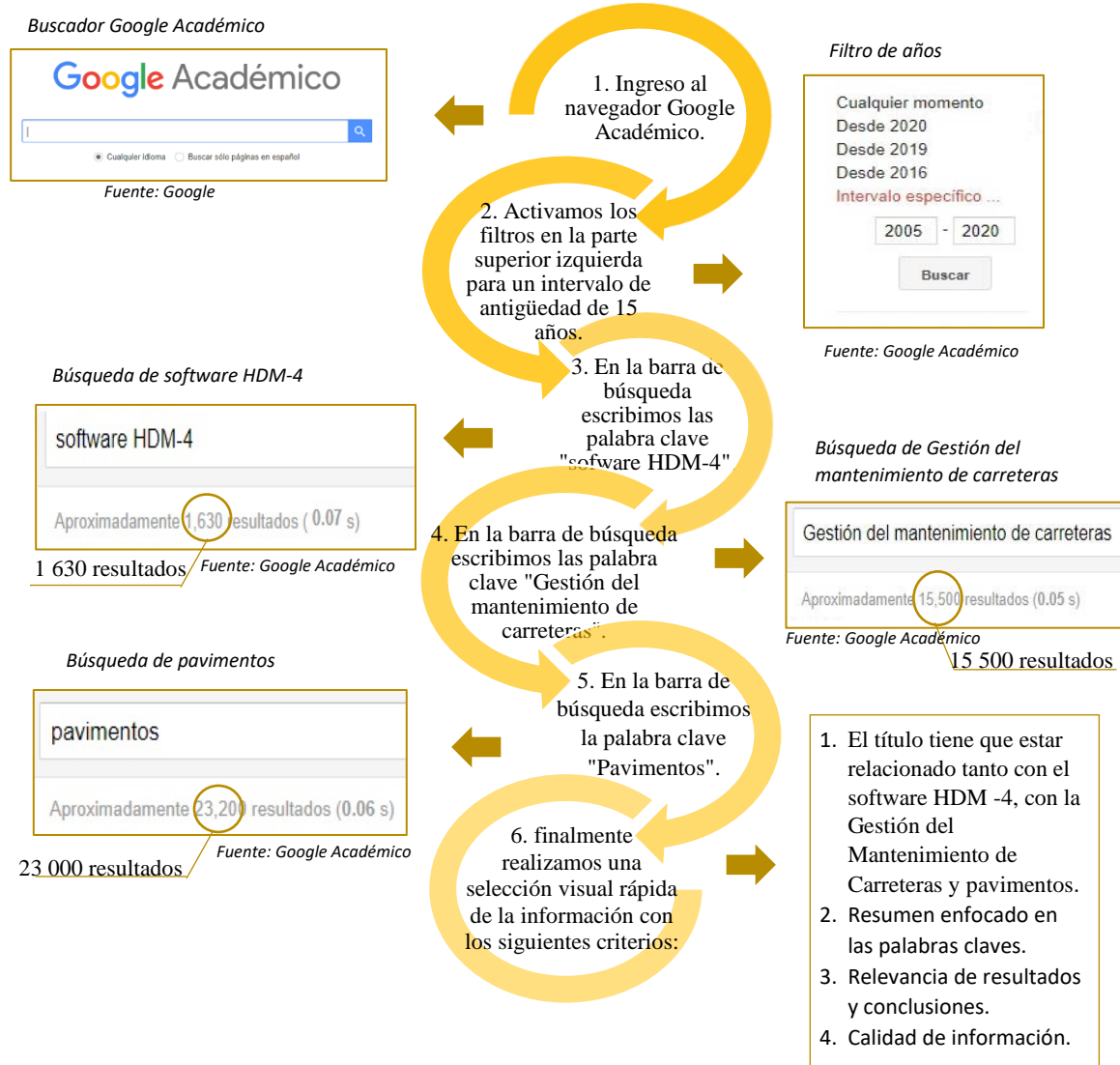
El desarrollo de la investigación requiere la utilización de todas las fuentes de información mencionadas anteriormente, para clasificarlas y tener una visión más organizada de la información encontrada se han elaborado tablas, las cuales permiten clasificar la información según antigüedad, calidad y contenido, para tener un enfoque más actualizado se ha optado

por la información que está dentro del 2010 al 2020, con algunas excepciones de artículos más antiguos, el idioma es español e inglés, y en cuanto a la disciplina es la rama de ingeniería.

En el siguiente esquema se detalla la estrategia de búsqueda N°1 en el buscador Google Académico.

### Esquema 1: Búsqueda en Google académico.

**Definición de Google Académico:** Es un buscador que permite localizar documentos académicos como artículos, tesis, libros y resúmenes de fuentes diversas como editoriales universitarias, asociaciones profesionales, repositorios de preprints, universidades y otras organizaciones académicas. Los resultados aparecen ordenados considerando el texto completo, el número de citas recibidas, el autor, la publicación, fuente, etc. (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2012)



*Tabla 1. Búsqueda de información en Google Académico utilizando palabras claves.*

Herramienta virtual	Palabras claves	Nro. Artículos	%
Google Académico	Software HDM-4	1 630	4.04
	Pavimentos	23 200	57.53
	Gestión del mantenimiento de carreteras	15 500	38.43
<b>Total de Artículos Revisados</b>		<b>40 330</b>	<b>100</b>

***Fuente: Elaboración propia***

Para la búsqueda de información en la plataforma científica, se realizó con palabras claves las cuales fueron Software HDM-4, Pavimentos y Gestión del mantenimiento de carreteras, se encontró 1 630, 23 200 y 15 500 artículos respectivamente, se realizó la búsqueda en el idioma español, sin embargo la información encontrada para la palabra clave “Software HDM-4” está en el idioma inglés, para lo cual se hizo uso del traductor online para poder obtener los artículos en el idioma español, la selección finalmente se hizo por antigüedad, por la importancia y calidad de la información.



En el siguiente esquema se detalla la estrategia de búsqueda N°2 en el buscador EBSCO.

## Esquema 2: Búsqueda en EBSCO

**Definición de EBSCO:** Bases de datos que nos ofrecen miles de recursos de información especializada en: Economía, Psicología, Administración, Negocios, Tecnología, Humanidades y Ciencias Sociales, de diversas fuentes (Artículos científicos, Revistas, Periódicos, Libros, Tesis, Informes, Directorios, etc.) de instituciones y universidades reconocidas mundialmente. (EBSCO,2020)

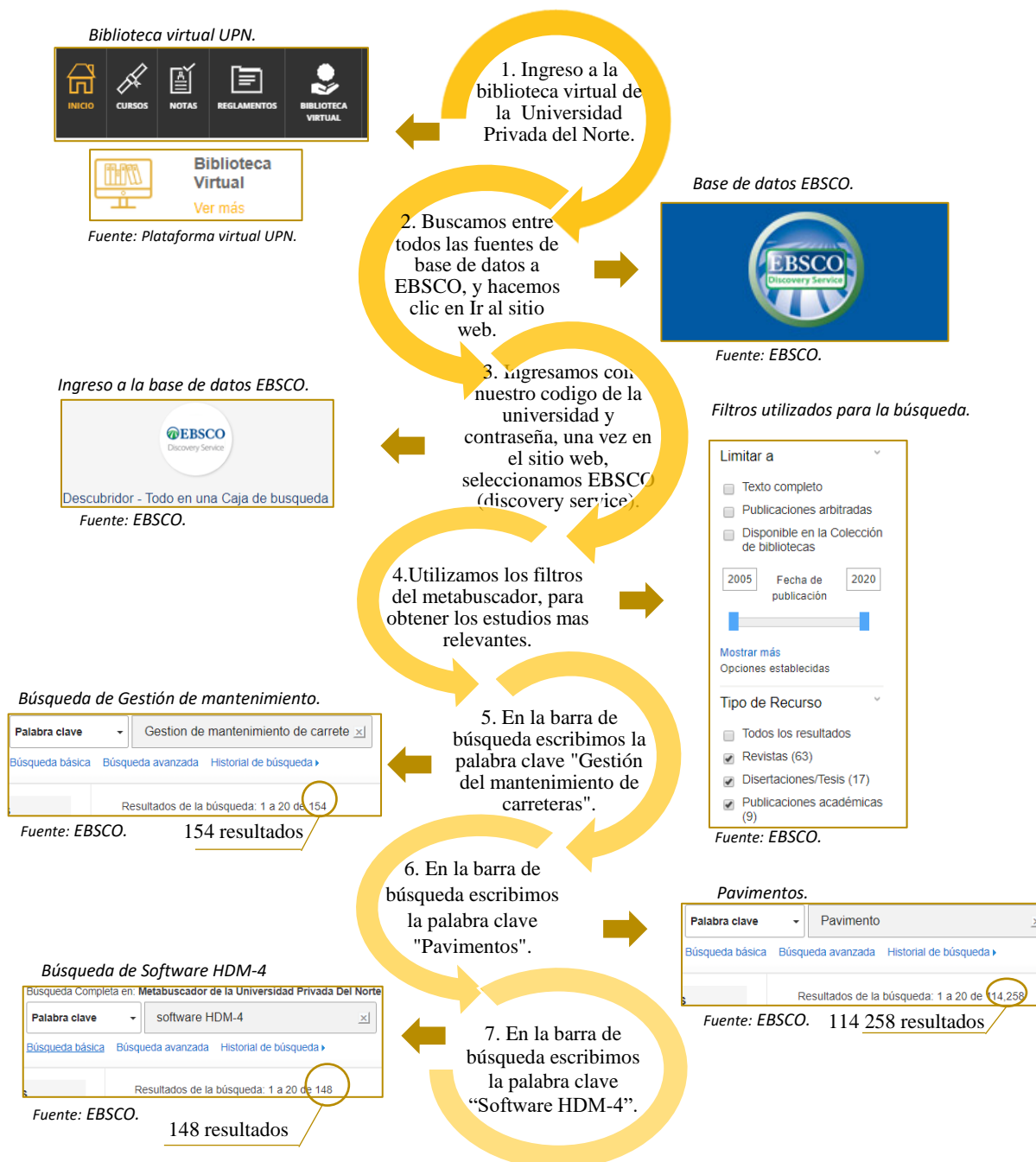


Tabla 2. Búsqueda de información en EBSCO utilizando palabras claves.

Herramienta virtual	Palabras claves	Nro. Artículos	%
EBSCO	Software HDM-4	148	0.13
	Pavimentos	114 258	99.74
	Gestión del mantenimiento de carreteras	154	0.13
Total de Artículos Revisados		114 560	100

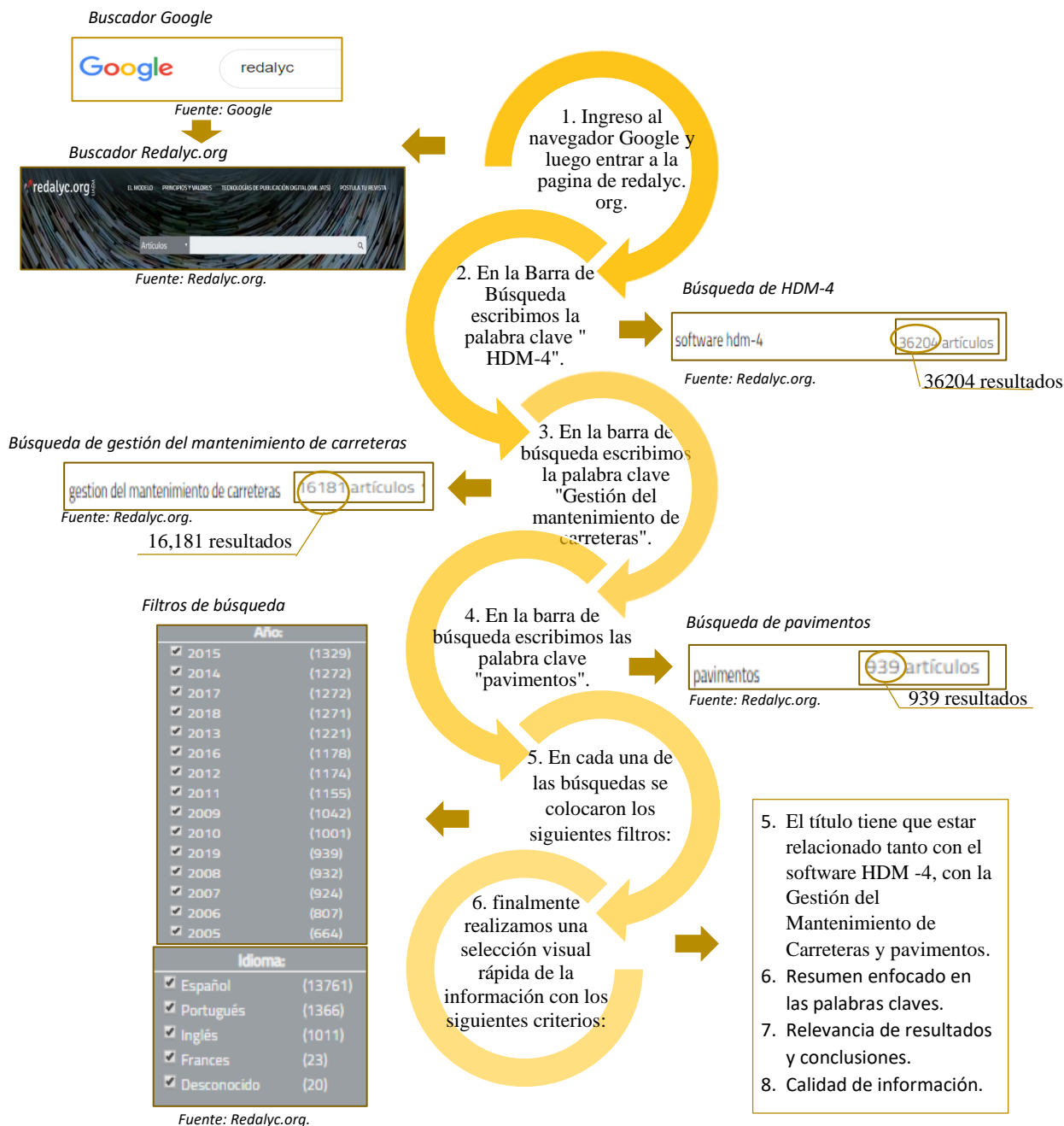
*Fuente: Elaboración propia*

Para la búsqueda de información en esta herramienta online, se realizó con palabras claves las cuales fueron Software HDM-4, Pavimentos y Gestión del mantenimiento de carreteras, se encontró 148, 114 258 y 154 artículos respectivamente, se realizó la búsqueda en el idioma español, la selección finalmente se hizo por antigüedad, por la importancia y calidad de la información.

En el siguiente esquema se detalla la estrategia de búsqueda N°3 en el buscador Redalyc.org.

### Esquema 3: Búsqueda en Redalyc. Org.

**Definición de Redalyc. org:** Es un sistema de indización que integra a su índice de revistas de alta calidad científica, después de 16 años de dar visibilidad y apoyar en la consolidación de las revistas, ahora integra de manera exclusiva a las que comparten el modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica, de cualquier región. (Redalyc.org, 2019).



*Tabla 3. Búsqueda de información en Redalyc.org utilizando palabras claves.*

Herramienta virtual	Palabras claves	Nro. Artículos	%
Redalyc.org	Software HDM-4	36 204	67.89
	Pavimentos	939	1.76
	Gestión del mantenimiento de carreteras	16 181	30.35
<b>Total de Artículos Revisados</b>		<b>53324</b>	<b>100</b>

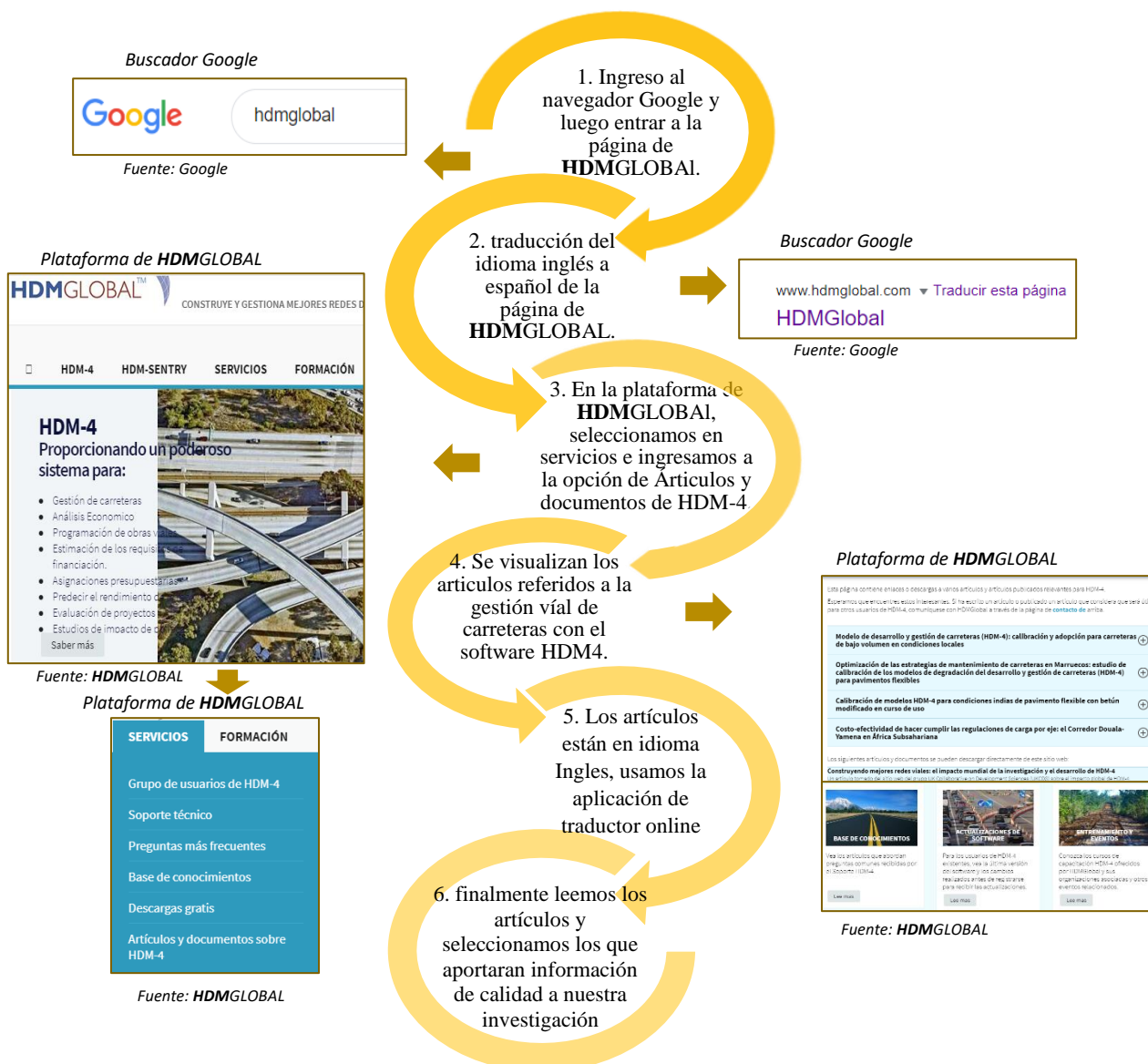
***Fuente: Elaboración propia***

Para la búsqueda de información en esta herramienta online, se realizó con palabras claves las cuales fueron Software HDM-4, Pavimentos y Gestión del mantenimiento de carreteras, se encontró 36 204, 939 y 16 181 artículos respectivamente, se realizó la búsqueda con los filtros mostrados en el esquema, los cuales fueron en países tales como Colombia, México, Venezuela, Brasil, Cuba, Perú, Ecuador, Argentina, Puerto Rico y Chile, con una antigüedad de 15 años, y en diferentes idiomas, los más importantes español e inglés, la selección finalmente se hizo por antigüedad, por la importancia y calidad de la información.

En el siguiente esquema se detalla la estrategia de búsqueda N°4 en la plataforma de HDMGLOBAL.

### Esquema 4: Búsqueda en HDMGLOBAL.

**Definición de HDMGLOBAL:** EL consejo de la asociación Mundial de la Carretera, por recomendación General de Piarç, decidió en 2004 establecer una concesión de servicios para la gestión, desarrollo, marketing, ventas y soporte de HDM-4. Tras una convocatoria de propuestas competitivas y después de una evaluación cuidadosa, fue adjudicado el contrato a HDMGLOBAL, a un consorcio internacional centrado en la Universidad de Birmingham. Los compromisos que tiene que cumplir son la organización de la difusión de la tecnología de HDM-4, documentación, publicación de cursos y, talleres, artículos y evolución del software. (PIARC-Asociación Mundial de la Carretera).



*Tabla 4. Búsqueda de información en HDMGLOBAL utilizando palabras claves.*

Herramienta virtual	Palabras claves	Nro. Artículos	%
HDMGLOBAL	Software HDM-4	15	51.72
	Gestión del mantenimiento de carreteras	14	48.28
<b>Total de Artículos Revisados</b>		<b>29</b>	<b>100</b>

***Fuente: Elaboración propia***

Para la búsqueda de información en esta herramienta online, se realizó con palabras claves las cuales fueron Software HDM-4 y Gestión del mantenimiento de carreteras, se encontró 15 y 14 artículos respectivamente, se realizó la búsqueda en el idioma español, sin embargo la información encontrada está en el idioma inglés, para lo cual se hizo uso del traductor online para poder obtener los artículos en el idioma español, la selección finalmente se hizo por antigüedad, por la importancia y calidad de la información.

A partir de la información inicial, mediante tablas de resultados se ha clasificado la recolección de información que describen el estudio con campos como: título de la revista científica, fuente, autores, lugar y año, metodología usada en la investigación y resultados obtenidos por autor.

*Tabla 5. Base de datos.*

Fuente	Autor	Tema	Lugar	Año	Importancia
Google académico	Shah Yogesh U.a; Jain S. S.b and Tiwari Deveshc	Adaptación de la herramienta HDM-4 para el análisis estratégico de la red de caminos urbanos	India	2014	9
Google académico	Tanuj Chopra a*, Manoranjan Parida b, Naveen Kwatra c , Jyoti Mandhani d	Desarrollo del Sistema de Gestión de Mantenimiento de Pavimentos (PMMS) de Urban Road Red con el modelo HDM-4	India	2017	9
Google académico	M. U Khan <sup>1</sup> and P. J. Higgins <sup>1</sup>	Un análisis exhaustivo para obtener resultados consistentes de HDM-4: estudio de caso con un consejo local en Australia	Australia	2015	9
Google académico	Vargas León, Juan Carlos	Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM – 4 en la carretera PE – 38 tramo: Tacna – Tarata	Peru	2017	6
Google académico	Jennaro B. Odoki	Estudio de caso: adaptación HDM-4 para analizar carreteras de Kenia	Reino Unido	2016	7

**Fuente: Elaboración propia**

*Tabla 6. Base de datos.*

Fuente	Autor	Tema	Lugar	Año	Importancia
Google académico	Jarrín Coral, Irma Patricia	Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de Avenida Cristóbal Colón, Quito	Ecuador	2019	9
Google académico	Giraldo Rufz, Arthur Fidel	Control de Gestión y Preservación Vial, Caso: Corredor Vial "Santa-Yuracmarca-Sihuas-Huacrachuco-San Pedro de Chonta-Uchiza-EMP. PE 5N y Puente Huarochiri-Huallaga-Molinopampa", Tramo: Puente Huarochiri-Sihuas	Perú	2015	9
Google académico	Lluncor Yataco, Gianmarco Xavier	Aplicación del Modelo HDM en la Evaluación de Proyectos de Carreteras en Perú: "Carretera Bagua Chica-Flor de la esperanza"	Perú	2012	9
EBSCO	Igua Cortés Francisco javier	Análisis Técnico del tramo comprendido entre el km 34+160-km 45+100 de la doble calzada Bogotá-Villacencio con base en el software HDM-4	Colombia	2015	9
EBSCO	Galindo Galvan, Denis Pelayo	Gestión del pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo hdm-4, Huancayo - 2017	Peru	2017	9
Redayc.org	Pradena Miquel, Mauricio; Posada Henao, John	Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4	Chile	2007	8
Redayc.org	Vera, I; Thenoux, G; Solminihac, H.D; Echaveguren, T	Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles	Chile	2010	5
Redayc.org	Rodríguez Moreno, M; Thenoux Zeballos, G; Gonzales Vaccarezza, A.	Evaluación Probabilística del Agrietamiento de Pavimentos Asfálticos en carreteras de Chile	Chile	2013	7

**Fuente: Elaboración propia**



*Tabla 7. Base de datos.*

Fuente	Autor	Tema	Lugar	Año	Importancia
Redayc.org	Pradena, M; Echaveguren ,T	Gestión de Calidad en el Mantenimiento Vial Basada en el principio de Enfoque al Cliente	Chile	2008	6
HDMGLOBAL	Dr. Greg Morosiuk; Tyrone Toole; Salim Mahmud; Ttang Dachlan	Modelado del Deterioro de Pavimento Bituminoso en Indonesia Dentro de un Marco HDM-4	Indonesia	2015	9
HDMGLOBAL	R.Solorio y P. Garnica	Procedimiento Basado en HDM-4 para Revisar el Rendimiento de las Condiciones Objetivas en la Red de Carreteras Mexicanas	México	2015	7
HDMGLOBAL	Chai, Gary	Calibración del modelo HDM para la Autopista Norte Sur en Malasia	Malasia	2004	9
HDMGLOBAL	Swapan Kumar Bagui; Ambarish Ghosh	Calibración del Análisis HDM-4 con un estudio de caso	Malasia	2015	8

**Fuente: Elaboración propia**

Por otro lado, del total del resultado, se han excluido aquellos artículos de las diferentes herramientas virtuales donde la metodología no abastecía la información pertinente para la investigación realizada, no tenía facilidad de citación y la búsqueda era muy compleja, los resultados no tenían relación con lo que se pretende investigar.

*Tabla 8. Criterio de exclusión.*

Autor	Tema	Lugar	Año	Motivo de exclusión
Vera, I; Thenoux, G; Solminihac, H.D; Echaveguren, T	Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles	Chile	2010	El artículo no contiene información que aporte a la investigación.
Rodríguez Moreno, M; Thenoux Zeballos, G; Gonzales Vaccarezza, A.	Evaluación Probabilística del Agrietamiento de Pavimentos Asfálticos en carreteras de Chile	Chile	2013	El estudio no está enfocado a una evaluación del deterioro con el modelo HDM-4.
Pradena, M; Echaveguren, T	Gestión de Calidad en el Mantenimiento Vial Basada en el principio de Enfoque al Cliente	Chile	2008	El artículo realiza una evaluación de la gestión vial, pero no lo realiza con el modelo HDM-4.
R.Solorio y P. Garnica	Procedimiento Basado en HDM-4 para Revisar el Rendimiento de las Condiciones Objetivas en la Red de Carreteras Mexicanas	Mexico	2015	Esta investigación evalúa el rendimiento de las carreteras, pero solo lo realiza con un enfoque basado en el modelo HDM-4, mas no utiliza el modelo.
Swapan Kumar Bagui; Ambarish Ghosh	Calibración del Análisis HDM-4 con un estudio de caso	Malasia	2015	El artículo no contiene información que aporte a la investigación.
Jennaro B. Odoki	Estudio de caso: adaptación HDM-4 para analizar carreteras de Kenia	Reino Unido	2016	En el artículo se dan los factores y actores que se utilizaran para la utilización del modelo HDM-4, (sin resultados sobre esto).

**Fuente: Elaboración propia**

Finalmente, se tiene los temas que se consideran para trabajar en esta investigación que son de importancia, teniendo en cuenta la tabla siguiente con su descripción.

*Tabla 9. Criterio de inclusión.*

Autor	Tema	Lugar	Año	Motivo de inclusión
Shah Yogesh U, Jain S.S y Tiwari Devesh	Adaptación de la herramienta HDM-4 para el análisis estratégico de carreteras urbanas Red	India	2014	El artículo contiene resultados del modelo HDM-4, y el país se encuentra en una realidad similar a la nuestra.
M. U Khan <sup>1</sup> and P. J. Higgins <sup>1</sup>	Un análisis exhaustivo para obtener resultados consistentes de HDM-4: estudio de caso con un consejo local en Australia	Australia	2015	El país es pionero en la implementación del modelo en sus ministerios, dando recomendaciones para el mejor uso del modelo.
Galindo Galvan, Denis Pelayo	Gestión del pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo hdm-4, Huancayo – 2017	Peru	2017	El estudio se realizó en dos tramos cercanos, sin embargo, se evidencia la diferencia en el costo y mantenimiento, recalcando cuan importantes es calibrar el modelo HDM-4.
Giraldo Ruíz, Arthur Fidel	Control de Gestión y Preservación Vial, Caso: Corredor Vial "Santa-Yuracmarca-Sihuas-Huacrachuco-San Pedro de Chonta-Uchiza-EMP. PE 5N y Puente Huarochiri-Huallaga-Molinopampa", Tramo: Puente Huarochiri-Sihuas	Perú	2015	La investigación muestra la aplicación del software HDM-4 en la elección de la mejor alternativa de gestión del mantenimiento.
Lluncor Yataco, Gianmarco Xavier	Aplicación del Modelo HDM en la Evaluación de Proyectos de Carreteras en Perú: "Carretera Bagua Chica-Flor de la esperanza"	Perú	2012	Se hace un estudio de la gestión del mantenimiento con el modelo HDM.
Igua Cortés Francisco javier	Análisis Técnico del tramo comprendido entre el km 34+160-km 45+100 de la doble calzada Bogotá-Villacencio con base en el software HDM-4	Colombia	2015	En esta investigación se hace un análisis de todos los resultados de HDM-4 que proporcionan la elección de la mejor gestión del mantenimiento.

**Fuente: Elaboración propia**

Tabla 10. Criterio de inclusión.

Autor	Tema	Lugar	Año	Motivo de inclusión
Pradena Miquel, Mauricio; Posada Henao, John	Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4	Chile	2007	A pesar de la antigüedad del artículo, la información es valiosa, pues aplican el uso del software HDM-4 en una carretera y realizan un análisis de las alternativas del mantenimiento.
Dr. Greg Morosiuk; Tyrone Toole; Salim Mahmud; Ttang Dachlan	Modelado del Deterioro de Pavimento Bituminoso en Indonesia Dentro de un Marco HDM-4	Indonesia	2015	Esta investigación realiza una calibración de los factores del Modelo HDM-4 y realizan una comparación del deterioro real con el predicho por el software.
Chai, Gary	Calibración del modelo HDM para la Autopista Norte Sur en Malasia	Malasia	2004	En esta investigación calibraron los factores del modelo HDM-4 y realizaron un análisis de la Gestión Vial.
Tanuj Chopra a*, Manoranjan Parida b, Naveen Kwatra c, Jyoti Mandhani d	Desarrollo del Sistema de Gestión de Mantenimiento de Pavimentos (PMMS) de Urban Road Red con el modelo HDM-4	India	2017	El artículo contiene procedimientos y resultados obtenidos del modelo HDM-4, de una fuente internacional.
Vargas León, Juan Carlos	Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM – 4 en la carretera PE – 38 tramo: Tacna – Tarata	Perú	2017	El estudio se realizó en Perú, siendo parte de la realidad nacional y cuyos resultados servirán para hacer una comparación internacional
Jarrín Coral, Irma Patricia.	Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de Avenida Cristóbal Colón, Quito.	Ecuador.	2019	El estudio se realizó con la aplicación del software HDM-4, además de utilizar la metodología PCI para determinar las fallas del pavimento.

**Fuente: Elaboración propia**

(Shah Yogesh, S.S, & Tiwari, 2014) Hizo un estudio estratégico en carreteras urbanas con el software HDM-4 en la India, país que cuenta con carreteras afectadas por el gran volumen de tráfico, la sobrecarga, invasión de terreno y la falta de atención a los drenajes, factores que conducen a la falla del pavimento, aplicando el software HDM-4 obtuvieron 5 alternativas de mantenimiento y rehabilitación de carreteras, escogiendo la alternativa 5 la cual les permitió maximizar el VPN (Valor presente Neto) y minimizar los costos para lograr el índice de rugosidad internacional (IRI) objetivo, para lo cual deberán realizar una Superposición delgada de SDBC (Hormigón bituminoso semidenso) de 25 mm y el Fortalecimiento con 50 mm DBM (Macadam bituminoso graduado denso)+ 40 mm BC (Hormigón bituminoso), los autores consideraron que es la mejor alternativa de inversión porque mantiene toda la red de carreteras en un nivel aceptable.

Por otro lado (Khan & Higgins, 2015) Encontraron algunas inconsistencias entre los resultados de HDM-4 y el campo, concluyeron complementar el modelo con visitas a campo y juicio de ingeniería, para obtener resultados sólidos, adicionalmente obtuvieron un procedimiento eficaz basado en 4 fases, las cuales nos llevan a resultados óptimos.

1° fase. - Calibración del modelo.

2° fase. - Analizar y determinar los criterios de intervención del tratamiento para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento

3° fase. - Revisar los resultados del software HDM-4.

4° fase. - Verificar la consistencia de los resultados con visitas al sitio.

En la investigación realizada por (Galindo Galvan, 2017) del pavimento de la Avenida San Carlos, en Huancayo - Perú, analizó dos tramos con diferentes características de dicha carretera, concluyó que a pesar de que la zona y climatología es la misma, existen otros factores importantes como lo son, el tipo de rodadura (el primer tramo con hormigón y el segundo tramo con bituminosos), el tipo de flujo vehicular, el tiempo de uso y la clase de carretera, estos factores influyen en los resultados dados por el software HDM-4, obteniendo para el primer tramo en un periodo de evaluación de 5 años, con un IRI de 3.29 m/Km el monto de S/ 2,084,000.00 soles y para el segundo tramo con evaluación de 10 años, con un IRI de 3.40 m/Km el monto de S/15,784,000.00 soles.

(Giraldo Ruiz, 2015) Realizó una evaluación con el Software HDM-4 en el tramo Pte. Huarochiri – Sihuas, para los próximos 4 años. Que consistió en la recolección de datos para poder calibrar el modelo HDM-4 y posteriormente eligió la mejor alternativa de gestión del mantenimiento. Determinó un adecuado procedimiento de la gestión vial, el cual estableció un mantenimiento rutinario de la carretera, la evaluación de HDM-4 arrojó un  $IRI < 3.6$  m/Km, con un ahorro de costos de operación vehicular de casi S/. 3 500 000, de la proyección de costos obtuvo que al quinto año se va a necesitar hacer un refuerzo TSB (tratamiento Superficial Bituminosa) con un costo de S/. 11 990 000.

(Lluncor Yataco, 2012) Analizó la eficiencia del Modelo HDM III en carreteras en Perú, revisando el caso del estudio de la mejor alternativa de construcción de la carretera “Bagua Chica – Flor de la Esperanza”, calibró el modelo HDM y obtuvo la mejor alternativa para dicha carretera, la que propone una carpeta de rodadura de tratamiento superficial Bicapa, con una distancia de 10.4 km que muestra una tasa de interés de retorno de (13.5 %) y con

una estrategia de mantenimiento que permite que la carretera se encuentre en buen estado durante los próximos 20 años.

(Igua Cortés, 2015) Determinó que el software HDM-4 permite realizar un análisis técnico y económico, obtuvo que las velocidades de circulación de los vehículos por la vía durante los primeros 6 años en cada uno de los tramos de estudio estarán entre 50 y 70 km/h, posteriormente las velocidades de circulación disminuirán debido al deterioro de la estructura del pavimento. Otro resultado fue que dentro de los primeros 9 años de funcionamiento de la vía se presentará un aumento progresivo de la irregularidad en la superficie del pavimento, generando así mayores costos a los usuarios de la vía, debido al mayor consumo de combustible de los vehículos. Del análisis con el modelo HDM-4 recomendó un mantenimiento periódico con criterio de intervención cada 5 años de la carretera.

(Pradena & Posada, 2007) Calibraron el modelo HDM-4 para un proyecto en Colombia, evaluaron con el modelo la gestión para el mejoramiento de una carretera con capa de rodadura de ripio, evaluaron dos alternativas, la primera fue no realizar intervención en la carretera con un mantenimiento rutinario y bacheo todos los años y la segunda fue la pavimentación con un mantenimiento rutinario todos los años y realizar sello de juntas. Como resultado obtuvieron que el HDM-4 permite realizar un análisis técnico económico considerando el ciclo de vida del camino, determinando los costos y beneficios en este período, de la evaluación con el software determinaron que el mantenimiento rutinario y bacheo de la carretera en ripio requiere una menor cuantía, pero las intervenciones son más regulares en el tiempo haciendo que las molestias al tráfico sean mayores, así como los costos de usuario (operación vehicular y tiempo de viaje).

(Greg & Salim, 2015) Describieron el desempeño de tramos de carretera en Indonesia durante 10 años y compara sus tasas de deterioro con las predichas por las relaciones utilizadas en el modelo HDM-4 globales de Indonesia. Las relaciones de grietas, surcos y asperezas se calibran para las condiciones a nivel de red, lo que permite el uso de las relaciones de deterioro apropiadas.

(Chay, 2004) Calibró el factor ambiental de edad de rugosidad HDM-4 a lo largo de la Autopista North South en la Península de Malasia. Obtuvo como resultado que el modelo HDM-4 calibrado genera una buena predicción del deterioro real del pavimento en condiciones locales. Con la mejora en el modelo predictivo, se puede pronosticar un presupuesto de mantenimiento apropiado con mayor precisión y esto asegura que se ha proporcionado una asignación presupuestaria adecuada. Un modelo bien calibrado reduciría la posibilidad de una futura escasez de fondos.

(Tanuj Chopra, Parida, Naveen Kwatra, & Jyoti Mandhani, 2017) Realizaron un estudio en la India, trabajaron en función de la relación VPN / costo más alto utilizando HDM-4, obteniendo como respuesta de la ejecución del modelo HDM-4 que lo más factible para el mantenimiento y rehabilitación de las secciones de la carretera es Volver a sellar o sellado de grietas + capa delgada de 25 mm.

(Vargas León, 2017) El modelo HDM-4 permitió obtener la mejor alternativa de solución técnica y económica, logrando administrar eficientemente los recursos con los que se cuentan y cumpliendo con el objetivo principal el cual es brindar confort a la población, eligieron la alternativa que consiste en realizar una conservación optima con el sellado de fisuras y grietas, parchado superficial y profundo en calzada y la colocación de un refuerzo asfáltico de  $e = 4$



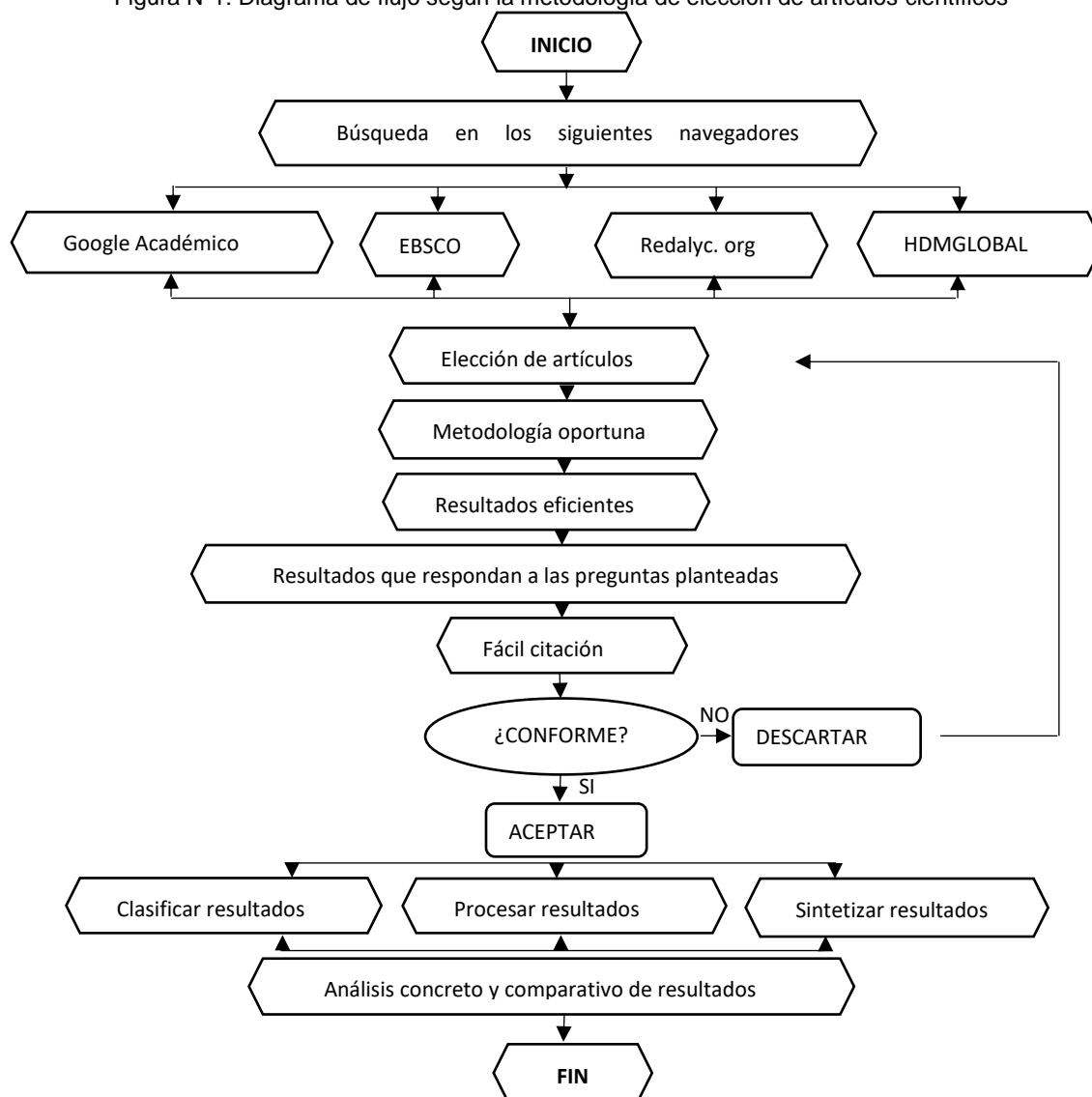
cm, en toda la longitud del sub tramo. Concluyeron que los sistemas de gestión de pavimentos se relacionan de manera directa con el modelo HDM-4, debido a que actúa como una herramienta para la integración y organización de los datos del estudio de campo, para así definir el tipo de intervención económica, con el fin de mejorar los niveles de servicialidad y seguridad de la carretera.

(Jarrin Coral, 2019) La investigación científica se desarrolló en la avenida Cristóbal Colon en Ecuador, siendo un pavimento flexible, en principio se utilizó la metodología PCI para determinar el estado actual del pavimento y reconocer que factores influyen en el deterioro del pavimento, de esta evaluación obtuvieron que el drenaje incide en el deterioro del pavimento por lo cual este factor se utilizara en la calibración del modelo HDM-4, posterior a ello se realizó ensayos destructivos con la técnica de “calicatas” obtuvieron los datos de espesor del pavimento, humedad natural y granulometría, estableciendo la capacidad estructural actual y a partir de ensayos no destructivos obtuvieron el IRI que permitirán conocer cuál es el grado de uniformidad a lo largo de la superficie de la vía y la comodidad que tienen los usuarios al conducir. Al calibrar el modelo HDM-4 con una alternativa base y dos alternativas, siendo la alternativa 2 más rentable al tener un mayor valor en el TIR.

### CAPITULO III. RESULTADOS

Con el siguiente diagrama de flujo se podrá explicar los criterios de inclusión de artículos científicos que aportaran para esta revisión sistemática, dichos criterios se han basado en que las investigaciones contengan una buena metodología, resultados que respondan a las preguntas planteadas y fácil citación, por otro lado, los artículos que no proporcionan estos requisitos han sido excluidos.

Figura N°1: Diagrama de flujo según la metodología de elección de artículos científicos



**Fuente: Elaboración propia**

A continuación, se presenta las tablas con el procesamiento de datos de las revistas científicas elegidas, también se ha asignado un código a cada resultado, para su posterior comparación.

Tabla 11. Investigaciones con palabra clave "Software HDM-4".

Título	Autor	Fuente , Lugar y año	Metodología	Resultados	Cód.
Adaptación de la herramienta HDM-4 para el análisis estratégico de la red de caminos urbanos.	Shah Yogesh U.a; Jain S. S.b and Tiwari Deveshc	Google académico India. 2014.	<b>Cuantitativa y cualitativa.</b> Recopilación de datos de la carretera en campo, características de la carretera, Índice medio diarios, Índice de rugosidad internacional; estos se utilizan para calibrar el modelo, el análisis se llevó a cabo para maximizar el valor presente neto (VPN) y minimizar los costos para lograr un índice de rugosidad internacional (IRI) deseado.	El HDM-4 sirve como una herramienta de evaluación económica personalizada de las redes viales, que permite escoger la alternativa que cumpla con los objetivos establecidos, la alternativa de mantenimiento escogida es la que minimizo los costos para el IRI objetivo requiriendo de un "Fortalecimiento h 50 mm DBM (Macadam bituminoso graduado denso) + 40 mm BC (Concreto bituminoso)".	R1
Desarrollo del Sistema de Gestión de Mantenimiento de Pavimentos (PMMS) de Urban Road Red con el modelo HDM-4	Tanuj Chopra a*, Manoranjan Parida b, Naveen Kwatra c, Jyoti Mandhani d	Google académico India. 2017.	<b>Cualitativa</b> Se siguió los siguientes pasos: 1° Selección de secciones de carreteras urbanas, 2° Recolección y análisis de datos, 3° Volumen de tráfico y datos de composición del vehículo, 4° Datos de obras de mantenimiento y rehabilitación, 5° Datos de costos, 6° Datos del costo del usuario en carretera (RUC), 7° Alternativas de Mantenimiento y Rehabilitación y 8° Estudio comparativo de estrategias de Mantenimiento y Rehabilitación programadas y sensibles a la condición.	El modelo HDM-4 prioriza efectivamente todas las secciones de la carretera en este estudio, como resultado obtuvieron que la alternativa de mantenimiento más conveniente es 'Volver a sellar + capa delgada'. Dado que la priorización es un proceso de toma de decisiones, los diseñadores deben usar buenos modelos como HDM-4 antes de tomar decisiones importantes de Gestión vial.	R2
Un análisis exhaustivo para obtener resultados consistentes de HDM-4: estudio de caso con un consejo local en Australia	M. U Khan1 and P. J. Higgins1	Google académico Australia. 2015.	<b>Cualitativa</b> 1° fase. - Calibración del modelo. 2° fase. - Analizar y determinar los criterios de intervención del tratamiento para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento 3° fase. - Revisar los resultados del software HDM-4. 4° fase. - Verificar la consistencia de los resultados con visitas al sitio.	Usando el tratamiento mejorado de criterios de intervención y juicio de ingeniería, numerosas ejecuciones de HDM-4 han dado resultados confiables, obteniendo la mejor alternativa de mantenimiento, que cumple con el objetivo de mantener el IRI en 4.6 y minimizar los costos de inversión de mantenimiento.	R3

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 12. Investigaciones con palabra clave "Software HDM-4".

Título	Autor	Fuente , Lugar y año	Tendencia y Metodología	Resultados	Cód.
Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM – 4 en la carretera PE – 38 tramo: Tacna – Tarata.	Vargas León, Juan Carlos.	Google académico. Perú. 2017.	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> Recolección de datos de la carretera (estructuras, transito, geometría y clima), los cuales sirven para calibrar el software HDM-4, en complementación de la metodología PCI, que evalúa la superficie del pavimento considerando los daños superficiales y estructurales del pavimento.	Escogió la alternativa más rentable económicamente según los resultados del VAN, para el tramo desde km 22+00 – km 86+500 de la carretera Alto de La Alianza - Tarata, determino un mantenimiento rutinario, parchado, sellado de fisuras y grietas anual y un refuerzo asfáltico (e=1.5") cada 10 años, con un total de S/15 476.58 en costos. En su investigación llego a la conclusión de que el estado peruano tiene que ser capaz de administrar la red vial nacional eficientemente, con la implementación del software HDM-4.	R4
Gestión del pavimento de la Avenida San Carlos mediante el uso del modelo HDM-4, Huancayo 2017.	Galindo Galván, Denis Pelayo.	EBSCO Perú 2019	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> Se escogió la población que en este caso fue la Av. San Carlos, se determinó los tipos de fallas de los pavimentos, posteriormente se realizó la calibración del modelo HDM-4 y por último se analizó los resultados y las alternativas para cada tramo.	El uso del modelo HDM-4 optimizó la gestión del pavimento, permitió la elección de la mejor alternativa de conservación para los dos tramos estudiados, para el primer tramo con evaluación de 5 años, se recomienda un mantenimiento periódico de parchado y resellado de juntas, con un IRI de 3.29 m/Km y con una inversión de S/ 2 084 000.00, teniendo un ahorro de S/ 86 000. Para el segundo tramo con evaluación de 10 años, con un IRI de 3.40 m/Km y una inversión de S/15 784 000.00, teniendo un ahorro de S/ 266 000 soles, se recomienda un mantenimiento periódico con reparación por sello.	R5
Aplicación del Modelo HDM en la Evaluación de Proyectos de Carreteras en Perú: "Carretera Bagua Chica-Flor de la esperanza".	Lluncor Yataco, Gianmarco Xavier.	Google Académico Perú 2012	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> Se analizó la eficiencia del Modelo HDM III en carreteras en Perú, revisando el caso del estudio de la mejor alternativa de construcción de la carretera "Bagua Chica – Flor de la Esperanza"	Calibró el modelo HDM y obtuvo la mejor alternativa para el proyecto vial Bagua Chica – Flor de la Esperanza, la que propone una carpeta de rodadura de tratamiento superficial Bicapa, con una distancia de 10.4 km que muestra una tasa de interés de retorno de (13.5 %) y con una estrategia de mantenimiento que permite que la carretera se encuentre en buen estado durante los próximos 20 años.	R6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Investigaciones con palabra clave "Pavimentos".

Título	Autor	Fuente , Lugar y año	Metodología	Resultados	Cód.
Modelado del Deterioro de Pavimento Bituminoso en Indonesia Dentro de un Marco HDM-4.  Modelling the Deterioration of Bituminous Pavements in Indonesia Within a HDM-4 Framework.	Dr. Greg Morosiu k; Tyrone Toole; Salim Mahmud; Ttang Dachlan	HDMGLOBAL Indonesia 2015.	<b>Cualitativa</b> Esta investigación describe el desempeño de tramos de carretera en Indonesia durante 10 años y compara sus tasas de deterioro con las predichas por las relaciones utilizadas en el modelo HDM-4 globales de Indonesia. Las relaciones de grietas, surcos y asperezas se calibran para las condiciones a nivel de red, lo que permite el uso de las relaciones de deterioro apropiadas.	Para las resistencias del pavimento y las cargas de tráfico encontradas en los sitios de prueba, HDM-4 predice que el agrietamiento se iniciará después de 6 a 7 años. Los valores reales indican que el agrietamiento empezó después de 3 a 5 años. Concluyeron que la calibración permitirá que las relaciones de deterioro del HDM-4 se utilicen con confianza en los sistemas de gestión de pavimentos para que las necesidades de mantenimiento se determinen con mayor precisión.	R7
Calibración del modelo HDM para la Autopista Norte Sur en Malasia.  Calibration of HDM Model for the North South Expressway in Malaysia.	Chai, Gary	HDMGLOBA L Malasia 2004.	<b>Cualitativa</b> El artículo discute un estudio de caso en el que se realizó una calibración preliminar del factor ambiental de edad de rugosidad HDM-4 a lo largo de la Autopista North South en Malasia. La condición climática del sitio de la autopista se describe como precipitación mensual húmeda, calurosa y alta durante todo el año.	Calibró el factor ambiental de edad-rugosidad de HDM-4 a lo largo de la Autopista North South en la Península de Malasia. Obtuvo como resultado que el modelo HDM-4 calibrado genera una buena predicción del deterioro real del pavimento en condiciones locales. Con la mejora en el modelo predictivo, se puede pronosticar un presupuesto de mantenimiento apropiado con mayor precisión.	R8

**Fuente:** Elaboración propia.

Tabla 14. Investigaciones con palabra clave "Gestión de mantenimiento".

Título	Autor	Fuente , Lugar y año	Metodología	Resultados	Cód.
Control de Gestión y Preservación Vial, Caso: "Santa-Yuracmarca-Sihuas-Huacrachuco-San Pedro de Chonta-Uchiza-EMP. PE 5N y Puente Huarochiri-Huallaga-Molinopampa", Tramo: Puente Huarochiri-Sihuas	Giraldo Ruíz, Arthur Fidel	Google Académico Perú 2015	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> La información teórica fue recopilada del Ministerio de transporte, Provias Nacional y Provias Rural. En cuanto a la parte aplicativa se realizó en el tramo Pte. Huarochiri – Sihuas, se realizó una evaluación con el Software HDM-4 para los próximos 4 años. Que consistió en la recolección de datos para poder calibrar el modelo HDM-4 y posteriormente elegir la mejor alternativa de gestión del mantenimiento.	Determinó un adecuado procedimiento de la gestión vial, el cual estableció un mantenimiento rutinario de la carretera en un periodo de 4 años, la evaluación de HDM-4 arrojó un IRI < 3.6 m/Km, con un ahorro de costos de operación vehicular de casi S/. 3 500 000, de la proyección de costos se obtiene que al quinto año se va a necesitar hacer un refuerzo TSB (tratamiento Superficial Bituminosa) con un costo de S/. 11 990 000.	R9
Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4.	Pradena Miquel, Mauricio; Posada Henao, John	Redalyc.org Chile 2007	<b>Cualitativa</b> Calibraron el modelo HDM-4 para un proyecto en Colombia, evaluaron con el modelo la gestión para el mejoramiento de una carretera con capa de rodadura de ripio, evaluaron dos alternativas, la primera fue no realizar intervención en la carretera con un mantenimiento rutinario y bacheo todos los años y la segunda fue la pavimentación con un mantenimiento rutinario todos los años y realizar sello de juntas.	Como resultado obtuvieron que el HDM-4 permite realizar un análisis técnico económico considerando el ciclo de vida del camino, determinando los costos y beneficios en este período, de la evaluación con el software determinaron que el mantenimiento rutinario y bacheo de la carretera en ripio requiere una menor cuantía, pero las intervenciones son más regulares en el tiempo haciendo que las molestias al tráfico sean mayores, así como los costos de usuario (operación vehicular y tiempo de viaje). Asimismo, determinaron que el IRI es fundamental en la metodología de HDM-4.	R10

**Fuente: Elaboración propia.**

Tabla 15. Investigaciones con palabra clave "Gestión de mantenimiento".

Título	Autor	Fuente, Lugar y Año	Metodología	Resultados	Cód.
Análisis Técnico del tramo comprendido entre el km 34+160-km 45+100 de la doble calzada Bógota-Villacencio con base en el software HDM-4	Igua Cortés Francisco Javier	EBSCO Colombia 2015	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> La elaboración del proyecto se dividió en cuatro etapas: La revisión del desarrollo del modelo, la cuantificación de parámetros y costos, la simulación del proceso de mantenimiento en el tramo vial de estudio y la importancia del IRI dentro de la evaluación del HDM-4. Se concluye con la determinación de las velocidades de circulación de los diferentes tipos de vehículos, la irregularidad en la superficie del pavimento, la densidad vehicular en los tramos de análisis y el daño en la capa superficial de la estructura del pavimento.	Determinó que el software HDM-4 permite realizar un análisis técnico y económico, obtuvo que las velocidades de circulación de los vehículos por la vía durante los primeros 6 años en cada uno de los tramos de estudio estarán entre 50 y 70 km/h, posteriormente las velocidades de circulación disminuirán debido al deterioro de la estructura del pavimento. Otro resultado fue que dentro de los primeros 9 años de funcionamiento de la vía se presentará un aumento progresivo de la irregularidad en la superficie del pavimento, generando así mayores costos a los usuarios de la vía, debido al mayor consumo de combustible de los vehículos. Se recomienda un mantenimiento periódico con criterio de intervención cada 5 años.	R11
Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de Avenida Cristóbal Colón, Quito.	Jarrín Coral, Irma Patricia.	Google académico. Ecuador. 2019.	<b>Cuantitativa y cualitativa</b> Para el estudio consideraron varios factores como los climáticos, solicitudes de tráfico, topografía y drenaje que inciden en el deterioro de la estructura del pavimento. Para la evaluación se empleó inspección visual, ensayos destructivos y no destructivos, con respecto al diseño de alternativas de Mantenimiento y Rehabilitación se empleó el software HDM-4.	De las dos alternativas de mantenimiento evaluadas en HDM-4, obtuvo que ambas son rentables, una es reconstrucción sobre base granular, y la otra es reconstrucción sobre base estabilizada, sin embargo, desde un punto de vista técnico la segunda alternativa es superior, ya que los valores del IRI se mantienen más bajos y en cuanto a costo beneficio la primera alternativa tiene un mayor valor de TIR. El ingreso del factor drenaje en la calibración del HDM-4, permitió obtener un análisis cercano a la realidad, ya que este afecta a la vida útil del pavimento.	R12

Fuente: Elaboración propia.

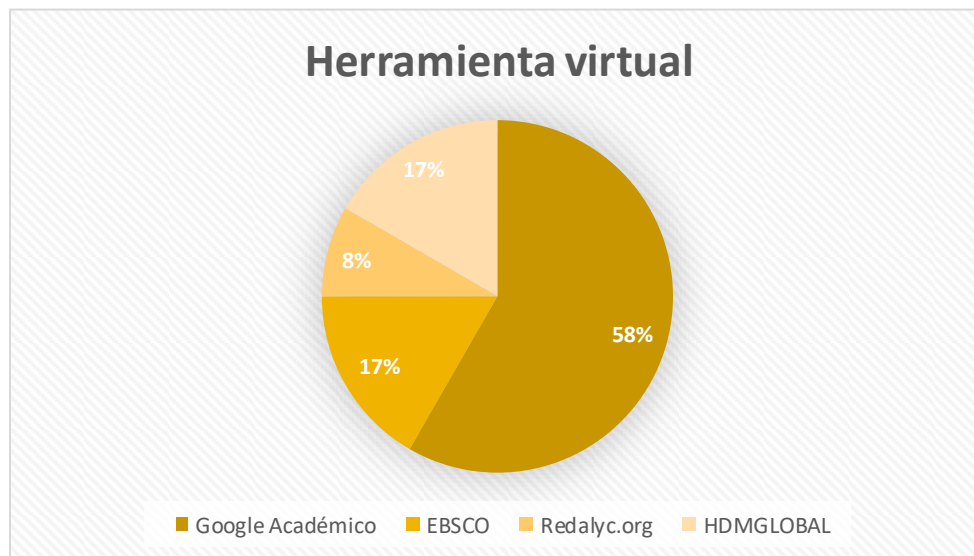
Se han elegido 12 artículos científicos de las fuentes Google Académico, EBSCO, Redalyc.org y HDMGLOBAL, los porcentajes según el estudio realizado ha sido el siguiente:

*Tabla 16. Herramienta virtual.*

Herramienta virtual	Cantidad	Porcentaje
Google Académico	7.00	58.33 %
EBSCO	2.00	16.67 %
Redalyc.org	1.00	8.33 %
HDMGLOBAL	2.00	16.67 %
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	<b>100.00 %</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

*Gráfico 1. Porcentaje de herramienta virtual.*



**Fuente: Elaboración propia.**

Del buscador Google académico se ha seleccionado un total de 7 artículos científicos representando un porcentaje de 58.33 %, siendo el de mayor incidencia, del metabuscador EBSCO y Redalyc.org se han seleccionado un total de 2 y 1 artículos científicos respectivamente, con porcentajes de 16.67 % y 8.33 %, de la página de HDMGLOBAL se ha seleccionado un total de 2 artículos científicos representando un porcentaje de 16.67 %.



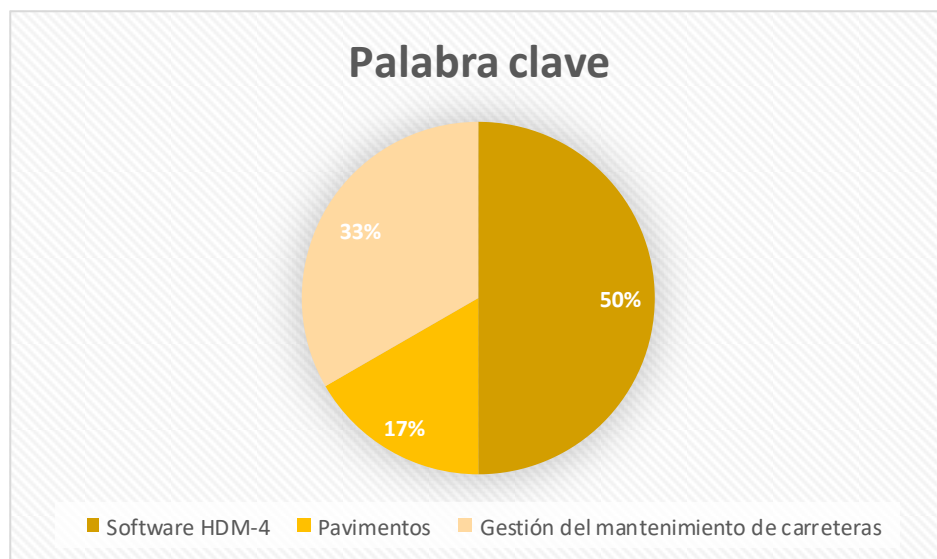
Las palabras claves utilizadas para la investigación en consideración con los temas abordados son las siguientes: Software HDM-4, Pavimentos, Gestión del mantenimiento de carreteras; la cantidad obtenida ha sido la siguiente:

*Tabla 17. Palabra clave.*

Palabra clave	Cantidad	Porcentaje
Software HDM-4	6.00	50.00 %
Pavimentos	2.00	16.67 %
Gestión del mantenimiento de carreteras	4.00	33.33 %
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	<b>100.00 %</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

*Gráfico 2. Palabra clave.*



**Fuente: Elaboración propia.**

Con la palabra clave Software HDM-4 se han seleccionado un total de 6 artículos científicos representando un porcentaje de 50.00 %, siendo el de mayor incidencia, seguida la palabra clave Pavimentos que tuvo una incidencia de 2 artículos científicos, representando el 16.67%, Finalmente con la palabra clave Gestión del mantenimiento de carreteras se han seleccionado 4 artículos científicos representando un porcentaje de 33.33 %.

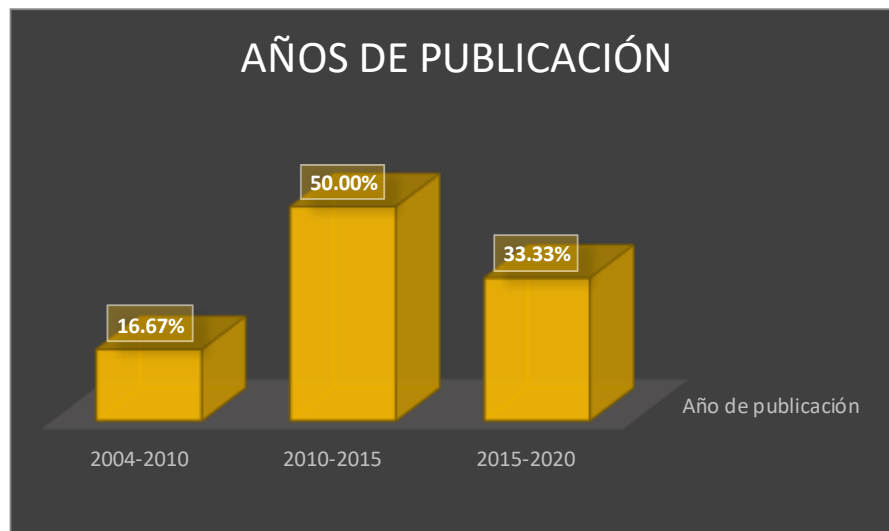
Para la selección del rango de tiempo nos basamos en un periodo de 16 años. Los años de publicación de los artículos científicos seleccionados para la investigación es el siguiente:

*Tabla 18. Año de publicación.*

<b>Año de publicación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
2004-2010	2.00	16.67 %
2010-2015	6.00	50.00 %
2015-2020	4.00	33.33 %
<b>Total</b>	<b>12.00</b>	<b>100.00 %</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

*Gráfico 3. Años de publicación.*



**Fuente: Elaboración propia.**

En los años del 2010 al 2015 es donde existe la mayor cantidad de estudios, representando un porcentaje del 50.00 %. Mientras que en los años del 2004 al 2010 y del 2015 al 2020 se han realizado un 16.67 % y 33.33 % de estudios respectivamente.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.

- **Estudios de la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países.**

De los estudios realizados de la Gestión del Mantenimiento en base al modelo HDM-4 en los diferentes años y países, encontramos una mayor incidencia de estudios realizados a nivel local de carreteras con respecto a nivel de redes viales. Los estudios encontrados a nivel de red son los siguientes: R1 (Red de caminos urbanos, India-2014), R2 (Red vial urbana, India-2017) y R7 (Red vial, Indonesia-2015), según la codificación asignada en la tabla de resultados. Los otros 9 estudios pertenecen a nivel local, es decir a pequeños tramos de carreteras.

*Tabla 19. Tipo de estudios.*

Tipo de estudios	Cantidad	Porcentaje
Estudios a nivel de red	3.00	25.00 %
Estudios a nivel local	9.00	75.00 %
<b>Total</b>	12.00	100.00 %

**Fuente:** *Elaboración propia.*

### **Análisis:**

- Podemos deducir que es conveniente la utilización del software HDM-4 a nivel de proyecto, ya que este tipo de estudio tiene una incidencia del 75 % en las investigaciones analizadas, con esto deducimos que la aplicación del software HDM-4 a nivel de proyecto, resultaría ser muy efectivo, ya que permite obtener una buena predicción del modelo en cuanto a la elección de la mejor alternativa de gestión del mantenimiento de la carretera.

- **Razones de por qué se debería implementar el modelo HDM-4 en el sistema de gestión de mantenimiento de proyectos locales de carreteras en el Perú.**

Según las investigaciones realizadas en Perú, se obtuvieron las siguientes razones para implementar el modelo HDM-4 en la gestión de mantenimiento:

- **Vargas Leon-2017:** En su investigación llegó a la conclusión de que el estado peruano tiene que ser capaz de administrar la red vial nacional eficientemente, con la implementación del software HDM-4.
- **Galindo Galvan-2019:** Obtuvo que el modelo HDM-4 optimiza la gestión del pavimento y que permite la elección de la mejor alternativa de conservación.
- **Giraldo Ruiz-2015:** Con el software HDM-4 determinó un adecuado procedimiento de la gestión vial.

- **Eficiencia de usar el modelo HDM-4 en la Gestión del Mantenimiento de Carreteras.**

De los resultados de las investigaciones, encontramos que el modelo HDM-4 brinda eficiencia en los siguientes aspectos:

- Evaluación económica personalizada de las redes viales y elección de la mejor alternativa de mantenimiento.
- Prioriza efectivamente todas las secciones de la carretera y determina la mejor alternativa para el mantenimiento del pavimento.
- El Software HDM-4 brinda informes importantes para la evaluación de alternativas de Mantenimiento y Rehabilitación.

- El HDM-4 permite realizar un análisis técnico económico considerando el ciclo de vida del camino.

- **Importancia de calibrar el software HDM-4 para realizar un análisis de la gestión del mantenimiento en cada proyecto vial.**

En todos los estudios encontrados y utilizados en esta investigación se han calibrado los factores del software HDM-4, esto demuestra, a un 100% la importancia de calibrar el modelo HDM-4, la calibración del modelo requiere necesariamente las características de diseño de la carretera, sin embargo, otros factores también han sido de gran importancia en dichos estudios, los cuales son factor IRI, Factor ambiental de edad-rugosidad y drenaje.

*Tabla 20. Factor de mayor importancia en la calibración.*

<b>Factor de mayor importancia en la calibración</b>	<b>Número de estudios</b>	<b>Porcentaje</b>
Factor IRI	R1, R3, R5, R7, R9, R10 y R12	77.78 %
Factor ambiental de edad-rugosidad.	R8	11.11 %
Drenaje.	R12	6.67%
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>100 %</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Análisis:**

De la tabla podemos deducir que el factor IRI (Índice de Regularidad Internacional), con un porcentaje de incidencia en los estudios de 77.78 %, es de mayor importancia en la calibración del Software HDM-4, ya que es necesario para la predicción del deterioro del pavimento y así mismo poder elegir la mejor alternativa de gestión del mantenimiento de carreteras.

- **Resultados obtenidos del software HDM-4 en las diferentes investigaciones.**

En las investigaciones analizadas, los resultados que han sido de mayor importancia en los estudios, obtenidos del software HDM-4 son el tipo de mantenimiento, costos y operación vehicular.

*Tabla 21. Factor de mayor importancia en la calibración.*

Tipo de resultado	Número de estudios	Porcentaje
Fortalecimiento, aumento o cambio de capa, Mantenimiento Rutinario y Mantenimiento Periódico	R1, R2,R4, R5, R6, R9, R10, R12	53.33 %
Factor costos, VAN y TIR	R3, R4, R5, R6, R9 y R12	40.00 %
Operación vehicular	R11	6.67 %
<b>TOTAL</b>	15	100.00 %

**Fuente:** *Elaboración propia.*

**Análisis:**

De los resultados obtenidos del software HDM-4 en las investigaciones, podemos deducir que los de mayor importancia son el tipo de mantenimiento y costos de inversión de la carretera, con una incidencia de 53.33 % y 40 % respectivamente, sin embargo, podemos realizar la elección de la mejor alternativa, e incluso utilizar los dos tipos de resultados para la mejor gestión del mantenimiento de carreteras.

---

## CAPITULO IV. CONCLUSIONES

- Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica acerca de la gestión del mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 en diferentes países, se seleccionó 18 artículos de revistas científicas, posterior a ello se depuró los artículos que no cumplían con los criterios de elegibilidad, seleccionando finalmente 12 estudios.
- Se buscó información en fuentes confiables, como Google académico, del cual se seleccionaron un total de 7 artículos científicos, representando un porcentaje de 58.33 %, siendo el de mayor incidencia con respecto a los otros metabuscadores, los cuales son EBSCO, Redalyc.org y la página de HDMGLOBAL.
- La búsqueda de estudios se realizó con palabras claves, las cuales fueron Software HDM-4, Pavimentos, Gestión del mantenimiento de carreteras, el de mayor incidencia en el resultado de la búsqueda fue con la palabra clave software HDM-4, de tal búsqueda se han seleccionado un total de 6 artículos científicos representando un porcentaje de 50.00 %.
- Encontramos que en los años del 2010 al 2015 es donde existe la mayor cantidad de estudios, representando un porcentaje del 50.00 %. Mientras que en los años del 2004 al 2010 y del 2015 al 2020 se han realizado un 16.67 % y 33.33 % de estudios respectivamente.
- Se determinó que la gestión de mantenimiento de carreteras en base al modelo HDM-4 se optimiza, ya que este modelo predice el deterioro de la carretera en su periodo de vida útil, además permite realizar un análisis técnico económico, dando como

---

resultado un informe importante para la evaluación de alternativas de mantenimiento y rehabilitación, en el estudio de (Galindo Galvan, 2017), se comprobó esta propiedad metodológica, el software HDM-4 priorizo efectivamente todas las secciones de la carretera determinando así la mejor alternativa de mantenimiento y rehabilitación.

- La calibración para el uso del modelo HDM-4 es primordial, los datos que se ingresan al modelo son la recolección de datos de la carretera (estructuras, tránsito, geometría y clima), de la revisión sistemática deducimos que el factor IRI (Índice de Regularidad Internacional), con un porcentaje de incidencia en los estudios de 77.78 %, es de mayor importancia en la calibración.
- Analizamos que los resultados del modelo HDM-4 usados en las investigaciones revisadas, son en su mayoría alternativas en base al tipo de mantenimiento y costos de inversión de la carretera, sin embargo el software HDM-4 brinda diversas alternativas, como en la investigación de (Igua Cortés, 2015) que hizo uso de la alternativa en base a la operación vehicular.
- Una de las limitaciones encontradas en esta investigación fue el acceso restringido a algunos artículos científicos., además no hay muchas investigaciones realizadas en Perú, ya que contamos con pocos especialistas en el software HDM-4.
- Recomendamos la implementación del Software HDM-4 en la gestión del mantenimiento de carreteras en el Perú.



---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Chay, G. (2004). Calibración del modelo HDM-4 para la autopista Norte Sur en Malasia. *Universidad de Birmingham*.
2. Galindo Galvan, D. P. (2017). Gestión del Pavimento de la avenida San Carlos mediante el uso del modelo HDM-4, Huancayo. *Perú*.
3. Giraldo Ruiz, A. F. (2015). Control de Gestión y Preservación Vial, Caso: Corredor Vial "Santa-Yuracmarca-Sihuas-Huacrachuco-San Pedro de Chonta-Uchiza-EMP. PE 5N y Puente Huarochiri-Huallaga-Molinopampa", Tramo: Puente Huarochiri-Sihuas. *Google académico*.
4. Greg, M., & Salim, M. T. (2015). Modelado del Deterioro de Pavimento Bituminoso en Indonesia Dento de un Marco HDM-4. *Instituto de Ingeniería Vial*.
5. HDMGLOBAL. (2005). *HDMGLOBAL*. Retrieved from <http://www.hdmglobal.com/media/2214/hdm-4-leaflet-2005-s-web.pdf>
6. Igua Cortés, F. J. (2015). Análisis Técnico del tramo comprendido entre el km 34+160- km 45+100 de la doble calzada Bogotá-Villacencio con base en el software HDM-4. *EBSCO*.
7. Jarrin Coral, I. P. (2019). Aplicación del modelo HDM-4 en el análisis y evaluación de las alternativas para el mantenimiento vial de Avenida Cristóbal Colón, Quito. *Google académico*.
8. Khan, M., & Higgins, p. (2015). Un analisis exhaustivo para obtener resultados consistentes de HDM-4: Estudio de caso con un consejo local en Australia. *Australia*.

- 
9. Lluncor Yataco, G. X. (2012). Aplicación del Modelo HDM en la Evaluación de Proyectos de Carreteras en Perú: "Carretera Bagua Chica-Flor de la esperanza". *Google académico*.
  10. Miquel, M. p., & Henao, J. P. (2007). Analisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4. *Revista de la Construcción*, 37-38.
  11. Nuñez, C., & Perez, I. (2005). El modelo HDM-4: descripción y posibilidades de aplicacion dentro de un sistema de gestión de carreteras. *Unoversidad de Coruña*, 1-2.
  12. Pradena, M., & Posada, H. (2007). Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando el Software HDM-4. *Revista de la Construcción*, 35-47.
  13. Redalyc.org. (2019). *Redalyc.org*. Retrieved from Universidad Autónoma del Estado de México: <https://www.redalyc.org/redalyc/acerca-de/mision.html>
  14. Shah Yogesh, U., S.S, J., & Tiwari, D. (2014). Adaptación de la Herramienta HDM-4 para el Analisis Estrategico de Carreteras Urbanas Red. *India*.
  15. Tanuj Chopra, M., Parida, B., Naveen Kwatra, C., & Jyoti Mandhani, D. (2017). Desarrollo del sistema de Gestion de Mantenimiento de Pavimentos (PMMS) de Urban Road Red con el modelo HDM-4. *India*.
  16. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, U. (2012, Noviembre 19). *Biblioteca Universitaria*. Retrieved from [https://biblioteca.ulpgc.es/google\\_academico](https://biblioteca.ulpgc.es/google_academico)

- 
17. Vargas León, J. C. (2017). Evaluación técnica y económica entre las modalidades ejecutivas de conservación vial aplicando el modelo HDM-4 en la carretera PE-38 tramo Tacna - Tarata. *Google academico*.